

学 位 論 文 要 旨

学位論文題名

個体群の動態からみた爬虫類・両生類の保全生態学的研究

ー 侵略的外来種グリーンアノールと保全対象種モリアオガエルの事例 ー

英文題名

Conservation ecology of amphibians and reptiles, in relation to population
dynamics: Case studies on the invasive alien species *Anolis carolinensis*
and the native species *Rhacophorus arboreus*

氏 名 戸 田 光 彦

【英文要約】 abstract

This study is concerned with amphibians and reptiles from the viewpoint of biodiversity conservation, and seeks to (a) determine the status of native species populations that should be protected and alien species populations that should be controlled, (b) consolidate the information that aids in population management, and (c) suggest some directions for such management.

The first case study focused on the green anole *Anolis carolinensis*, an invasive alien species introduced to the Ogasawara Islands. Future numbers were estimated based on data pertaining to habitat density, fecundity, and other information gathered from the field survey. It was concluded that elimination of more than 90% of the population each year was essential to achieve eradication within three years.

As a second case study, population dynamics of the tree frog *Rhacophorus arboreus* at Kanazawa Castle were monitored from 1984 to 2012. The results of this field research showed that the configuration of the multiple breeding grounds was crucial for the conservation of the species.

In light of these results, the study argues for the importance of applied herpetology as a scientific framework for wildlife management concerning amphibians and reptiles.

1. 本研究の目的

本研究の目的は、防除もしくは保全の必要性が高い爬虫類・両生類の個体群を対象として、生息密度や年齢構成、寿命、個体群動態、食性といった生態学的な特性を把握し、対象個体群の管理（保全、防除）に必要な資料を提示して、それらに基づき、科学的な観点から個体群管理の基本的な方向性を提言し、もって生物多様性の維持向上に貢献することである。

以下、侵略的外来種グリーンアノールの防除と在来種モリアオガエルの保全に関するケーススタディを示す。

2. 第1部：小笠原諸島におけるグリーンアノールの生態と防除に関する研究

(1) 背景と目的

海洋島である小笠原諸島には多くの固有昆虫が生息しているが、それらは強力な捕食者が存在しない生態系において進化を遂げてきた。ところが近年になって、北米原産のトカゲの一種であるグリーンアノールが持ち込まれ、その捕食のために小笠原の

昆虫群集は大きく衰退したことが指摘されている。

本研究の第1部の目的は、防除の必要性が高いグリーンアノールの小笠原個体群を対象として、生息密度や年齢構成、繁殖力といった生態学的な特性を把握し、科学的な観点から個体群管理の基本的な方向性を提示し、環境省が外来種対策として実施している本種の防除事業の方向性について提案することである。

(2) 材料と方法

1) 材料

本研究ではグリーンアノール *Anolis carolinensis* を材料とした。本種はイグアナ科アノール属の樹上性のトカゲで、小笠原では捕食によって昆虫群集を崩壊させており、2005年に外来生物法によって特定外来生物に指定された。

2) 野外調査

野外調査は2004年9月から2009年10月にかけて、計9回にわたり、父島北部の40×40mの調査区において実施した。調査区内をくまなく歩いてアノールを探し、発見された個体を捕獲し、体サイズと性別を記録し、標識を付けて放逐した。得られたデータは個体別に集計して、生存や成長等の記録をとりまとめた。

3) 飼育下における繁殖力の把握

小笠原に定着した本種のメスの繁殖力(1メスが1年間に産出する卵の数)を把握するため、2008年に父島で採集された本種のメス10個体を、成熟オス3個体とともに金網ケージ内にて飼育し、約2週間に1回、卵を取り出して産卵数を記録した。

4) 生命表の作成と個体数変化の将来予測

グリーンアノールの捕獲目標を検討するために確率論的シミュレーションモデルを作成した。野外及び飼育下で得られた経年生残率、産子数等のパラメータを利用してレスリー行列と生命表を作成し、個体群動態解析ソフトウェア LAMAS EcoLab を用いて個体群動態に係る将来予測を行った。その際、複数の初期密度と捕獲シナリオ(毎年の捕獲率)を設定し、各々について根絶までに要する期間を求めた。

5) 効率的な捕獲手法に関する情報の取りまとめ

2007年4月から6月にかけて、父島においてアノールが高密度に生息する地点であらかじめ個体に標識を施し、そこに粘着トラップを設置して、標識個体の捕獲率を把握し、より効率的な捕獲の手法について考察した。

(3) 結果と考察

1) 生息密度

2004年9月から10月にかけての第1回調査より、生息密度は1,450個体/haと推定された。2005年以降の生息密度は500~800個体/haで推移した。生息密度は2008

年までは減少傾向にあり、2009 年にはやや増加したと推定された。先行研究の結果を合わせて、小笠原に生息するアノールの生息密度は数百～数千個体/ha、小笠原全域における生息個体数は数百万個体と考えられた。幼体は速やかに成長して、翌年には頭胴長 50～60mm に達して成熟することが確かめられた。

2) メスの産卵期と繁殖力

飼育下における産卵期は 5 月下旬から 10 月下旬に及び、メス 1 個体の 1 年間当たりの産卵数は平均 13.7 個であった。個体群を効率的に縮小させるためには繁殖期直前のメスを取り除けばよいことから、産卵を開始する直前の 4 月頃から、産卵頻度が上昇する 6 月頃までの間にメスを集中的に捕獲することが効果的であると結論された。

3) 捕獲シナリオの検証

生命表によれば、1,000 個の卵から孵化するものが 900 個体、翌年まで生存して性成熟に達するものが 103.5 個体、2 歳まで生存するものは 36.7 個体であり、最長寿の個体は 4 歳であった。成熟個体の中では 1 歳集団が最も多く、また繁殖価が最も大きいのは 1 歳集団であり、それを排除することが効果的な密度低減につながると考えられた。

レスリー行列を用いて生息密度の将来予測を実施したところ、初期個体数を 500、毎年の捕獲率を 50% の場合には個体群は急速に減少し、12 年後には根絶が達成されると予測された。初期個体数 50 から 5,000 の間で同様の試行を行ったところ、毎年 80% のメスを排除し続ければ 3～7 年間で、毎年 90% を排除すると 2～4 年間でそれぞれ根絶が達成されると推測された。

4) 防除に必要な技術

標識個体を粘着トラップで継続的に捕獲したところ、標識個体の回収は捕獲開始から 15 日以内にとどまり、計 26% の個体が捕獲されたのみで、残りの個体は回収されなかった。これより、地域的な根絶を達成するためには、個体の移出入を防ぐフェンス等での遮断が必要であると結論された。

5) 第 1 部の科学的意義・社会的意義

本研究においては、野外調査と室内実験を組み合わせることによって個体群生態学的な知見を深めることができた。本種の個体群生態学的な特性を考慮すると、地域的な根絶を達成するためには、個体数を長期的に徐々に減らすのではなく、短期間に大部分の個体を排除する方法が適切であることが示唆され、本種の防除戦略を考える際の基礎となった。

環境省が実施する「小笠原地域自然再生事業（2008 年～2013 年）」に対してアノールの生態学的特性に関する情報を提供した。また、侵入防止柵を用いた本種の排除対策手法を開発し、アノール個体群の管理戦略を提案した。関連して、本研究の成果

は、環境省が実施する「小笠原国立公園特定外来生物重点防除事業（2008 年～2013 年）」にも活用された。

3. 第 2 部：金沢城におけるモリアオガエルの保全生態学的研究

（1）背景と目的

両生類は環境指標生物としての重要性を有し、また、モリアオガエルの金沢城個体群は石川県の生物多様性地域戦略に記載され、自然共生のシンボルとして、保全対象となり得るものである。

第 2 部の目的は、モリアオガエルの金沢城個体群を対象として、繁殖場所の分布状況とその変化、齢構成、食性、個体群動態といった生態学的な特性を把握し、個体群の維持に必要な条件を示し、それらに基づき、科学的な観点から本種の保全に関する方向性を提言することである。

（2）材料と方法

1）材料

本研究ではモリアオガエル *Rhacophorus arboreus* を材料とした。本種は初夏、樹上に泡巣を作ってそこに産卵する習性が知られており、分布や繁殖行動に関する報告は数多いが、成長や生存率、食性など、繁殖以外の生態についての報告はほとんどなされていない。

2）繁殖場所の把握

野外調査は 1984 年から 2012 年にかけて実施した。繁殖期である 5 月から 7 月にかけて、昼間及び夜間に石川県金沢市の金沢城をくまなく歩いてモリアオガエルの繁殖場所を探し記録した。

3）変態上陸個体の集団標識

1990 年の 7 月中旬から 10 月上旬にかけて、当時、最も多くのモリアオガエルが産卵に訪れたひとつの池の周囲に変態上陸個体が乗り越えられないポリエチレン製フェンスを設置し、毎日見回ってトラップされた個体を捕獲し、集団標識してフェンスの外に放逐した。

4）夜間センサス調査

1986 年から 1994 年の 9 年間にかけ、2 つの繁殖場所を中心にセンサスを実施した。夜間、繁殖場所の周囲を探して本種を捕獲し、その体サイズと性別を記録して指切法により個体識別した後に放逐した。

5）泡巣のカウントに基づく個体数の把握

1986 年から 1994 年の繁殖期には、2 週間に 1 度の現地調査により泡巣の全数を把握した。1995 年から 2012 年にかけては、毎年 6 月下旬に 1 回の調査を行い、その

数からシーズンを通した泡巣の総数を推定した。

6) 食性

1990 年 5 月から 10 月にかけての夜間センサスで捕獲された個体を用いて、触診により胃内容物の有無を記録し、一部の個体については強制嘔吐法によって胃内容物を取り出した。得られた胃内容物について、種の同定、サイズ測定などを行った。

(3) 結果と考察

1) 繁殖と成熟、生存率

本種の産卵は 5 月上旬から 7 月下旬にかけて確認された。オスは平均して 6 月 10 日に繁殖場所で初めて確認され、最後の確認は 6 月 28 日であった。この間、平均して 4.5 晩出現していた。一方、メスは平均すると 6 月 24 日に 1 晩だけ現れて産卵した。1 年に 2 回以上の産卵を行うメスは確認されず、泡巣数は繁殖を行ったメスの総数に等しいことが分かった。

1990 年の集団標識個体は 1994 年まで確認され、1990 年と 1991 年には全て幼体として、1992 年から 1994 年には全て成体として再捕された。1992 年の時点で、メスの方がオスよりも大型であった。これより、本種の成熟期間は雌雄とも 2 年間で、成熟までにメスの方が速やかに成長することが確認された。集団標識個体の約 80% は自分の生まれた池で繁殖したが、別の繁殖場所への移動例も確認された。

繁殖に参加しているオスの 5~8 割程度は繁殖初参加の個体であり、繁殖集団の主力は前々年に産まれた 2 歳個体であった。

2) 個体数の変動と環境の変化

金沢城に生息する本種のほとんどは 9 箇所の止水域のいずれかを繁殖場所としていた。土地利用変化に伴い、1984 年から 1997 年までに利用された池は 1 箇所を残して撤去され、1999 年以降は新たに形成された止水域を利用するようになった。

6 月下旬に見られた泡巣数 x と、当該繁殖期を通した泡巣の総数 y の間には次の回帰式が成立した。

$$y=2.3058x \quad (R^2=0.8637)$$

泡巣数は、金沢城が金沢大学のキャンパスであった 1986 年から 1994 年にかけて総数 250 個程度で安定していた。大学移転の前後である 1994 年から 1998 年にかけて泡巣数は減少し、2001 年までは少ない水準であった。都市公園として整備された 2002 年から 2007 年までは増加し続けて、2007 年から 2012 年にかけては高い水準を維持していた。どの時代においても複数の繁殖場所が存在したことは、本種の個体群が存続してきた要因のひとつと考えられた。

3) 食性

捕獲個体のうち、触診によって胃内容物が確認された個体の割合は半数以下で、オス成体は繁殖期においてほとんど胃内容物が確認されなかった。胃内容物を含んだ合計 39 個体から、昆虫をはじめとする計 39 種類 64 個体の餌動物が得られた。本種のお食物は森林性の種が多く、大きな個体ほど大型のお食物を捕る傾向が認められた。

4) 第 2 部の科学的意義・社会的意義

本研究においては、標識再捕法に基づくモリアオガエルの成長、成熟の野外における記録を初めて提示することができた。また、長期間にわたる生息環境の変化と野外個体群の動態が明らかにされた。金沢城における本種の繁殖場所は数回にわたり変化しており、常に複数の止水域が繁殖場所として機能してきたことが分かった。大学移転に伴い繁殖場所が消失してもモリアオガエル個体群が消滅しなかった理由として、複数の止水域が点在していたことが挙げられる。このように、中心となる繁殖場所を整備して、その周囲に複数の繁殖場所を配置するというデザインは、両生類の生息環境の保全について立案、実行する際に参考となるものと考えられる。

4. 総合考察

有害な外来種の防除と重要な在来種の保全は、実施する行為において正反対のように思われる。しかし、対象個体群の実態と特性を把握した上で、目標とする生息密度に誘導するための管理を進めるという点では共通している。

本研究においては、対象とする個体群の構造と動態を詳しく記載することができた。すなわち、幼体から成体までの各生活ステージの野外における生存率や、寿命、性比、生息密度とその経年変化などを明らかにできた。また、生息密度の増減を含む生息状況を長期間にわたり追跡して、個体群の動態を明らかにできた。これらの個体群の構造及び動態の詳細な記述は、日本産の爬虫類・両生類において少数の研究例しかなく、個体群の保全、管理において重要な情報となる。

これまでの爬虫両生類学においては、応用的な分野、特に防除に関する分野は未発達であった。しかし、外来の爬虫類・両生類が各地で問題視されている状況から、今後、防除に関する研究の必要性がさらに増してゆくものと思われる。

爬虫類・両生類は物資に混入しやすく、外温性であるため飢餓に強いという性質を持つ。一部の爬虫類・両生類は分布域外に非意図的に持ち出されて外来化しやすく、ひとたび定着すると防除は容易でない。このため、爬虫類・両生類の個体群を管理する際には、他の分類群とは異なった考え方及び技術を準備する必要がある、現在、その技術が必要とされている。ここでは、爬虫類・両生類の個体群管理を取り扱う学問分野を「応用爬虫両生類学 applied herpetology」と称したい。そして、本研究はその端緒をなすものとして位置づけられる。

学位論文審査報告書（乙）

1. 学位論文題目（外国語の場合は和訳を付けること。）

個体群の動態からみた爬虫類・両生類の保全生態学的研究 ―侵略的外来種グリーンアノールと保全対象種モリアオガエルの事例―

2. 論文提出者 氏名 ^{ふりがな} ^{とだ} ^{みつひこ} 戸田 光彦

3. 審査結果の要旨（600～650 字）

本研究は、爬虫類・両生類を対象として、生物多様性保全の観点から、防除対象とすべき侵略的外来種（グリーンアノール）および保全対象とすべき在来種（モリアオガエル）の生息状況を把握し、野外個体群に関する資料を整備し、それに基づいた管理について提言することを目的とした。グリーンアノールでは、父島北部における本種の生息密度は 500～800 個体/ha で、現在、個体数が急増している状況ではないことが判明した。飼育実験によれば、産卵期は 5 月から 10 月で、1 雌は 1 年間に平均 13.7 個の卵を産出する。本種の効率的な防除のために春期にメスを排除する必要があること、モデル解析より 3 年以内の根絶のためには毎年 90%以上のメスを取り除く必要があることが示された。これらの成果は、環境省が実施する「小笠原地域自然再生事業」等に活用された。モリアオガエルについて、金沢城における成熟期間、食性等を明らかにした。また泡巣数を指標として、本種の個体数の変化を 29 年間にわたり継続観測した。環境の変化に伴い、本種は 1995 年から 2002 年にかけて大きく減少したが、再び増加して 2008 年以降は安定的に生息していた。本種の効率的な保全のためには、複数の繁殖場所を確保すること、侵略的外来種の存在しない止水域を保つこと、森林の連続性を維持することが重要であると結論された。

以上の結果は、防除および保全が必要な爬虫類・両生類の基礎的な個体群動態を明らかにし、それに基づく野外個体群管理に関する重要な知見を体系的に示したものであり、博士（理学）に相当すると判断した。

4. 審査結果 (1) 判定（いずれかに○印） 合 格 ・ 不合格
(2) 授与学位 博 士（ 理 学 ）